

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерно-технологічний**  
**Кафедра енергетики та електротехнічних систем**

До захисту  
Допускається  
Завідувач кафедри

Чепіжний А.В.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
за бакалаврським рівнем вищої освіти

На тему: «Реконструкція системи електрифікації теплиці з вирощування кропу на базі Сумського НАУ, м. Суми, з розробкою автоматизованої системи зрошування рослин»

Виконав:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Натаров А.О.

(Прізвище, ініціали)

Група:

ЕТЕС 2101

(Науковий) керівник:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Сіренко Ю.В.

(Прізвище, ініціали)

**Суми – 2025**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет інженерно-технологічний**

Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Бакалавр»

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри енергетики**  
**та електротехнічних систем**

\_\_\_\_\_ **Чепіжний А.В.**

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 202\_ року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Натарову Анатолію Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи:** Реконструкція системи електрифікації теплиці з вирощування крону на базі Сумського НАУ, м. Суми, з розробкою автоматизованої системи зрошування рослин

**керівник роботи:** Сіренко Юлія Володимирівна, PhD, доцент,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “24” вересня 2024 року №3256/ос

**2. Строк подання здобувачем роботи:** “ 23” травня 2025 року.

**3. Вихідні дані до роботи:** матеріали обстеження об'єкту, технічна література, нормативна документація, державні стандарти, посібники, методичні рекомендації до виконання роботи, інтернет-джерела.

**4. Зміст пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ

1. Аналіз господарської діяльності об'єкта.

2. Технологічна частина.

3. Розрахунок і вибір силового електрообладнання

4. Проектування автоматизації технологічного процесу

5. Проектування внутрішньої цехової силової електричної мережі

6. Проектування електричного освітлення

7. Проектування електропостачання об'єкту

8. Охорона праці

9. Екологія

10. Економічне обґрунтування

Висновки.

**5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:**

1. Теплиця. Схема технологічна.
2. Теплиця. Система зрошування. Схема електрична розташування.
3. Теплиця. Установка освітлювальна. Схема електрична розташування.
4. Зрошувальна установка. Схема автоматизації.
5. Показники техніко-економічні. Таблиця.

#### 6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	ст. викладач Семерня О.В.		
Економічне обґрунтування	ст. викладач Шашков С.В.		
Нормоконтроль	доцент Чепіжний А.В.		

7. Дата видачі завдання: “ 5 ” вересня 2024 року

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Погоджено з керівником кваліфікаційної роботи
1.	Збір інформації про діяльність господарстві	до 14.09.2024 р.	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 15.11.2024 р.	
3.	Складання плану роботи	до 22.11.2024 р.	
4.	Написання вступу	до 29.11.2024 р.	
5.	Написання розділу «Характеристика об’єкту проектування»	до 27.12.2024 р.	
6.	Написання розділів 2 та 3,4 Підготовка листів 1 та 2 графічної частини	до 20.02.2025 р.	
7.	Написання розділів 5,6 та 7. Підготовка листів 3 та 4 графічної частини	до 11.04.2025 р.	
8.	Написання розділу «Охорона праці»	до 18.04.2025 р.	
9.	Написання розділу «Екологія»	до 24.04.2025 р.	
10.	Написання розділу «Економічне обґрунтування». Підготовка листу 5 графічної частини	до 30.04.2025 р.	
11.	Написання загальних висновків	до 09.05.2025 р.	
12.	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 15.05.2025 р.	
13.	Подання роботи на рецензування	до 23.05.2025 р.	
14.	Подання до попереднього захисту	до 27.05.2025 р.	

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_ (підпис)

Натаров А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Сіренко Ю.В.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

**Натаров Анатолій Олегович** «Реконструкція системи електрифікації теплиці з вирощування кропу на базі Сумського НАУ, м. Суми, з розробкою автоматизованої системи зрошування рослин.»

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня бакалавра з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки за освітньою програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025, 64 с.

Кваліфікаційна робота присвячена реконструкції системи електрифікації теплиці з вирощування кропу на базі Сумського НАУ з розробкою автоматизованої системи зрошування рослин. Метою роботи є розробка техніко-технологічного рішення для підвищення енергоефективності та автоматизації процесів у теплиці.

У першому розділі проведено аналіз господарської діяльності та стану електрифікації теплиці, виявлено недоліки існуючої системи та запропоновано шляхи її модернізації.

У другому розділі описано технологію вирощування кропу, розташування обладнання, перелік технологічних машин та вимоги до проєкту електрифікації.

Третій розділ присвячено розрахунку та вибору силового електрообладнання, перевірці потужності електродвигунів та розробці схеми розташування обладнання.

Четвертий розділ охоплює проєктування автоматизованої системи зрошування на базі мікроконтролера з датчиками вологості, включаючи схеми керування та специфікацію матеріалів.

П'ятий розділ описує розробку електричної мережі теплиці, вибір схеми живлення, розрахунок навантажень, вибір кабелів, автоматичних вимикачів та розподільчих шаф.

Останні розділи роботи присвячено охороні праці, екологічним аспектам та економічному обґрунтуванню, яке підтверджує окупність проєкту за 3,36 місяці та річну економію 132 476 грн.

Робота пропонує комплексне рішення для модернізації електрифікації та автоматизації зрошування, що підвищує енергоефективність, урожайність та безпеку процесів у теплиці.

**Ключові слова:** електрифікація, теплиця, освітлення, опромінення, автоматизація, окріп.

## ABSTRACT

**Natarov Anatolii Olehovych** "Reconstruction of the Electrification System of a Greenhouse for Dill Cultivation at Sumy National Agrarian University, Sumy, with the Development of an Automated Irrigation System."

Bachelor's qualification work in Electrical Power Engineering, Electrical Engineering, and Electromechanics, under the educational program Electrical Power Engineering, Electrical Engineering, and Electromechanics, specialty 141 "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering, and Electromechanics." Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025, 64 p.

The qualification work is dedicated to the reconstruction of the electrification system of a greenhouse for dill cultivation at Sumy National Agrarian University, with the development of an automated irrigation system. The aim of the work is to develop a technical and technological solution to enhance energy efficiency and automation of processes in the greenhouse.

The first section analyzes the economic activities and the state of electrification of the greenhouse, identifies shortcomings of the existing system, and proposes ways to modernize it.

The second section describes the dill cultivation technology, equipment layout, list of technological machines, and requirements for the electrification project.

The third section focuses on the calculation and selection of power electrical equipment, verification of electric motor capacities, and development of the equipment layout scheme.

The fourth section covers the design of an automated irrigation system based on a microcontroller with humidity sensors, including control schemes and material specifications.

The fifth section describes the development of the greenhouse's electrical network, selection of the power supply scheme, load calculations, and selection of cables, circuit breakers, and distribution cabinets.

The final sections address occupational safety, environmental aspects, and economic justification, confirming the project's payback period of 3.36 months and annual savings of UAH 132,476.

The work proposes a comprehensive solution for modernizing electrification and automating irrigation, enhancing energy efficiency, yield, and safety of processes in the greenhouse.

**Keywords:** electrification, greenhouse, lighting, irradiation, automation, cucumbers.

# ЗМІСТ

ВСТУП	
1. АНАЛІЗ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ОБ'ЄКТА .....	13
1.1. Загальна характеристика об'єкта .....	13
1.2. Аналіз господарської діяльності об'єкта.....	13
1.3. Аналіз стану електрифікації .....	14
1.4. Висновки та пропозиції .....	14
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	16
2.1. Опис прийнятої технології виробництва.....	16
2.2. Опис виробничих приміщень та розташування технологічного обладнання .....	16
2.5. Складання технологічних вимог до проекту електрифікації та прийняття загального рішення по проекту .....	18
3. РОЗРАХУНОК І ВИБІР СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ	
3.1. Вибір силового електрообладнання для стандартного технологічного обладнання.....	19
3.2. Перевірочний розрахунок потужності з урахуванням режимів роботи ....	20
3.3. Розрахунок вентиляції та опалення .....	20
3.4. Розрахунок і вибір силового обладнання для нестандартного технологічного обладнання .....	21
3.6. Схема розташування силового електрообладнання .....	21
4. ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІ	23
4.1. Опис технологічного процесу та складання технологічних вимог до проекту автоматизації.....	23
Технологічні вимоги:.....	23
4.2. Визначення параметрів, які підлягають контролю та регулюванню .....	23
Параметри:.....	23
Елементи автоматизації: .....	24
4.3. Функціональна схема контролю і керування технологічним процесом ....	24

4.5. Схема з'єднань шаф та пультів керування і сигналізації .....	25
4.6. Схеми приєднання і розташування: .....	25
4.7. Надійність автоматичних систем управління: .....	26
5. ПРОЕКТУВАННЯ ВНУТРІШНЬОЇ ЦЕХОВОЇ.....	
СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ.....	28
5.1. Вибір схеми живлення силових споживачів .....	28
5.2. Складання принципової схеми внутрішньої мережі (розрахунково-монтажна таблиця).....	28
5.4. Вибір марок, способу прокладання та перерізу кабелів .....	30
5.5. Вибір автоматичних вимикачів і магнітних пускачів .....	31
5.6. Вибір стандартних шаф керування .....	31
5.7. Вибір силових розподільних шаф .....	32
5.8. Складання специфікації (переліку елементів) .....	32
6. ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ.....	34
6.1 Вибір системи освітлення .....	34
6.2 Нормована освітленість.....	34
6.3 Вибір світильників .....	35
6.4 Розрахунок та схема розташування світильників.....	35
6.5 Вибір кабелю .....	37
6.6 Вибір автоматичних вимикачів .....	37
6.7 Специфікація основних матеріалів та обладнання.....	38
7. ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТУ.....	40
7.1 Визначення навантажень на вводі.....	40
7.3 Схема мережі електропостачання .....	41
7.4 Вибір джерела живлення.....	42
7.8 Перевірка захисних апаратів при КЗ.....	43
8. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	42
8.1 Небезпечні й шкідливі фактори.....	45
8.2 Оцінка умов праці. ....	46
8.3 Заходи безпеки .....	47

9. ЕКОЛОГІЯ.....	49
9.1 Нормативно-правова база.....	49
9.2 Вплив під час будівництва.....	49
9.3 Вплив під час експлуатації.....	50
9.4 Заходи мінімізації впливу.....	51
10.1 Мета економічного аналізу.....	54
Висновки: .....	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
ВИСНОВКИ.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60

## ВСТУП

У сучасних умовах розвитку агропромислового комплексу України важливу роль відіграє впровадження енергоефективних та автоматизованих технологій у сфері рослинництва, зокрема у тепличному господарстві. Одним із пріоритетних напрямів підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва є оптимізація умов вирощування рослин, що досягається за рахунок удосконалення систем електропостачання, автоматизації технологічних процесів, таких як зрошення, вентиляція, освітлення тощо.

На базі Сумського національного аграрного університету функціонує теплиця, в якій здійснюється вирощування кропу. Проте наявна система електрифікації та водопостачання є застарілою, що призводить до значних втрат енергії, зниження надійності та підвищення витрат на утримання об'єкта. Крім того, відсутність сучасної автоматизованої системи зрошення негативно впливає на сталість мікрокліматичних умов та якість урожаю.

У зв'язку з цим виникає необхідність у реконструкції існуючої системи електрифікації теплиці із впровадженням новітніх технічних рішень, які забезпечать надійне та економічно доцільне електропостачання, а також розробку автоматизованої системи зрошення для створення оптимальних умов вирощування кропу.

Мета проєкту: розробити техніко-технологічне рішення з реконструкції системи електрифікації теплиці та впровадження автоматизованої системи зрошення з урахуванням вимог енергоефективності, надійності та автоматизованого керування процесами.

Завдання кваліфікаційної роботи:

- провести аналіз господарської діяльності та стану електрифікації об'єкта;
- обґрунтувати вибір технологічного та електротехнічного обладнання;
- виконати електротехнічні розрахунки для силової мережі, освітлення та вентиляції;

- розробити систему автоматизованого зрошення з відповідними схемами керування;
- визначити техніко-економічну ефективність запропонованих рішень;
- забезпечити відповідність розробленої системи вимогам охорони праці та екологічної безпеки.

Реалізація даного проєкту дозволить підвищити ефективність використання енергетичних ресурсів, зменшити витрати на експлуатацію теплиці, забезпечити стабільний мікроклімат для вирощування кропу, а також сприятиме удосконаленню навчальної та науково-дослідної бази університету.

# 1. АНАЛІЗ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ОБ'ЄКТА

## 1.1. Загальна характеристика об'єкта

Об'єктом дослідження є навчально-дослідна теплиця, розташована на території Сумського національного аграрного університету. Теплиця призначена для вирощування зелені (зокрема, кропу) протягом усього року в умовах контрольованого мікроклімату.

Конструктивно теплиця є однопролітною арочною спорудою каркасного типу зі світлопрозорим полікарбонатним покриттям. Її габаритні розміри складають  $24 \times 9$  м, висота в коніку — 4 м. Загальна площа — близько  $216 \text{ м}^2$ . Теплиця обладнана системами обігріву, вентиляції, штучного освітлення та поливу.

Основне призначення теплиці:

- забезпечення практичної підготовки студентів;
- проведення досліджень з агротехнологій;
- часткове забезпечення навчального закладу свіжою зеленню.

## 1.2. Аналіз господарської діяльності об'єкта

У теплиці реалізується вирощування кропу на стелажах у контейнерах із ґрунтовим або торф'яним субстратом. Посів здійснюється касетно, з періодичністю 10–14 днів. За рік проводиться до 20 повноцінних циклів вирощування. Середня врожайність становить близько  $1,2 \text{ кг/м}^2$  за цикл, що відповідає 250–300 кг свіжої продукції на рік.

Обслуговування теплиці здійснюється персоналом університету, у тому числі студентами під час практики. Основними завданнями персоналу є контроль мікроклімату, зрошення, підсвічування та збирання врожаю.

Наявні проблеми:

- Нестабільна робота системи електропостачання (часті перепади напруги).
- Застаріла система зрошення (ручне керування, неекономне використання води).
- Високе енергоспоживання через нераціонально підібране обладнання.

### **1.3. Аналіз стану електрифікації**

Система електрифікації побудована ще у 2000-х роках і потребує модернізації. Живлення подається від внутрішньої електромережі університету напругою 380/220 В через окремий щит керування.

Наявне електрообладнання:

- Освітлення: люмінесцентні лампи загальною потужністю 2,4 кВт;
- Вентиляція: осьові вентилятори ( $2 \times 0,37$  кВт);
- Обігрів: електрокалорифери потужністю  $2 \times 2$  кВт;
- Насоси зрошення: 0,75 кВт (ручне керування);
- Щит керування без автоматизації.

Відсутня система моніторингу споживання електроенергії, що ускладнює аналіз енерговитрат. Облік споживання здійснюється за загальним лічильником.

### **1.4. Висновки та пропозиції**

Проведений аналіз засвідчив низьку енергоефективність теплиці та недосконалість технологічного процесу через:

1. застарілу систему електропостачання;
2. відсутність автоматизації управління зрошенням;
3. ручне керування більшістю пристроїв;
4. недостатній контроль за параметрами мікроклімату.

У зв'язку з цим доцільним є впровадження:

- реконструкції електропостачання із застосуванням сучасного силового обладнання;
- автоматизованої системи керування зрошенням на базі контролерів з датчиками вологості ґрунту;
- модернізації освітлення (наприклад, заміна на світлодіодне);
- заходів з енергоощадності.

## **2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА**

### **2.1. Опис прийнятої технології виробництва**

Вирощування кропу у теплиці Сумського НАУ здійснюється за технологією конвеєрного циклічного посіву. Для забезпечення рівномірного і контрольованого росту культури використовується касетний метод висіву у контейнери з торф'яним субстратом. Кожен цикл триває близько 30 днів. Основними етапами технологічного процесу є:

- підготовка ґрунтової суміші;
- висів насіння кропу;
- контроль вологості й температури;
- додаткове штучне освітлення;
- збір врожаю;
- підготовка до наступного циклу.

Для забезпечення стабільних умов вирощування передбачено автоматизоване керування зрошенням та регулювання температурного режиму за допомогою електронагрівальних приладів та вентиляції.

### **2.2. Опис виробничих приміщень та розташування технологічного обладнання**

Теплиця розміщена в одному із секторів агротехнічної навчальної ділянки СНАУ. Має однопролітну аркову конструкцію із покриттям із полікарбонату, орієнтовану по осі схід-захід для максимальної інсоляції.

Усередині теплиці встановлено 5 рядів металевих стелажів із пластиковими лотками для контейнерів з рослинами. Уздовж кожного ряду проходять труби

крапельного зрошення. Вздовж бокових стін встановлені два електрокалорифери. У торцевій частині змонтовані осьові вентилятори. Централью розміщено розподільчий щит електропостачання. Світильники рівномірно розташовані по всій довжині теплиці.

### 2.3. Складання паспортних даних стандартного технологічного обладнання

Таблиця 2.1 – Перелік основного технологічного та електричного обладнання теплиці

№	Найменування обладнання	Тип/Марка	Потужність, кВт	Кількість <sup>1</sup>
1	Електрокалорифер	Тепломаш КЭВ-4Т	2,0	2
2	Вентилятор осьовий	ВО 06-300	0,37	2
3	Насос зрошення	Pedrollo PQm60	0,75	1
4	Світильник LED	Philips GreenPower	0,05	48
5	Контролер автоматики	Siemens LOGO!	-	1
6	Датчики вологості/температури	SoilWatch 10	-	6

### 2.4. Складання завдання на проектування електричної частини нестандартного технологічного обладнання

Для забезпечення автоматичного керування зрошенням та мікрокліматом необхідно розробити електричну схему керування, яка включає:

- блок керування (контролер);
- модулі вводу/виводу;

- датчики вологості, температури;
- електромагнітні клапани на лініях зрошення;
- блок індикації станів та аварійного сигналу.

Потрібно забезпечити резервне живлення для контролера та електроприводів.

## **2.5. Складання технологічних вимог до проекту електрифікації та прийняття загального рішення по проекту**

Проект електрифікації повинен відповідати наступним вимогам:

- Забезпечення електроживлення всього встановленого обладнання з урахуванням перспективного навантаження.
- Використання енергоощадного освітлення (LED).
- Можливість автоматичного керування режимами обігріву, зрошення, вентиляції.
- Захист від перевантаження та короткого замикання.
- Візуалізація стану систем на мнемосхемі.
- Безпечність експлуатації для персоналу.

Враховуючи технологічні вимоги, прийнято рішення застосувати централізовану систему керування на базі мікроконтролера Siemens LOGO! зі зворотним зв'язком від сенсорів.

### 3. РОЗРАХУНОК І ВИБІР СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

#### 3.1. Вибір силового електрообладнання для стандартного технологічного обладнання.

Для електропостачання теплиці обрано наступне обладнання, виходячи з характеристик роботи технологічного процесу.

Таблиця 3.1 – Відомість електроприймачів теплиці та їх електротехнічні характеристики

№	Найменування	Кількість	Потужність, кВт	Напруга, В	Тип електроприймача
1	Світлодіодні фітолампи	24	0.1	220	Освітлювальний
2	Вентилятори осьові	2	0.37	220	Силовий двигун
3	Електрокалорифери	2	2.0	380	Нагрівальний пристрій
4	Насос зрошувальної системи	1	0.75	220	Силовий двигун

**Загальна встановлена потужність становить:**

$$P_{\text{заг}} = 24 \cdot 0.1 + 2 \cdot 0.37 + 2 \cdot 2.0 + 0.75 = 2.4 + 0.74 + 4.0 + 0.75 = 7.89 \text{ кВт}$$

Для підбору електрофурнітури (кабелів, автоматичних вимикачів) врахуємо коефіцієнт одночасності  $k_0 = 0.8$ :

$$P_{\text{розр}} = 7.89 \cdot 0.8 = 6.31 \text{ кВт}$$

### 3.2. Перевірочний розрахунок потужності з урахуванням режимів роботи

раховуючи режим роботи теплиці (освітлення - 14 год/добу, вентилятори - 8 год/добу, калорифери - періодично), середнє споживання в енергетичному балансі на добу становить:

- Освітлення:  $2.4 \text{ кВт} \times 14 = 33.6 \text{ кВт}\cdot\text{год/добу}$
- Вентиляція:  $0.74 \text{ кВт} \times 8 = 5.92 \text{ кВт}\cdot\text{год/добу}$
- Калорифери (50% часу):  $4.0 \times 6 = 24.0 \text{ кВт}\cdot\text{год/добу}$
- Насос:  $0.75 \times 1 = 0.75 \text{ кВт}\cdot\text{год/добу}$

Загальна добова витрата:

$$33.6 + 5.92 + 24.0 + 0.75 = 64.27 \text{ кВт}\cdot\text{год/добу}$$

### 3.3. Розрахунок вентиляції та опалення

**Вентиляція.** Вентиляційне обладнання представлено двома осьовими вентиляторами потужністю 0.37 кВт кожен, обраними за умови забезпечення 2–3 кратного повітрообміну на годину.

Об'єм теплиці:

$$V=24 \cdot 9 \cdot 4=864 \text{ м}^3$$

Необхідний повітрообмін:

2–3 об/год=> загальна подача вентиляторів  $\approx 2000\text{--}3000 \text{ м}^3/\text{год}$  - забезпечується обраними моделями.

**Опалення.** Встановлено два електрокалорифери по 2.0 кВт, призначених для підтримання температури в холодний період. Розрахунок потужності:

Орієнтовна теплова потреба для полікарбонатної теплиці  $\approx 60 \text{ Вт/м}^2$

$$Q=216 \cdot 60=12.96 \text{ кВт}$$

Обігрів на 4 кВт — недостатній, але може компенсуватись сонячним теплом та акумулюційними модулями. Рекомендується поступове збільшення потужності.

### **3.4. Розрахунок і вибір силового обладнання для нестандартного технологічного обладнання**

До нестандартного обладнання належать:

- електромагнітний клапан (220 В, 10 Вт);
- блок керування на базі Arduino (5 В через адаптер 220/5 В, 15 Вт);
- 6 датчиків вологості ґрунту (сумарно до 1 Вт);
- сигнальна лампа та зумер (5 Вт загалом).

Загальна потужність автоматики:

$\approx 30 \text{ Вт (0.03 кВт)}$  - незначне навантаження.

Для підключення обрано стандартний адаптер 220/12 В, контролер, реле, клемні з'єднання.

### **3.6. Схема розташування силового електрообладнання**

Схема передбачає:

- Щит керування біля входу.
- Освітлення над кожним рядом.
- Вентилятори на торцях теплиці.

- Калорифери по обидва боки.
- Насос біля баків у технічній зоні.
- Розетки для контролера та електромагнітного клапана в захищеній коробці.

## 4. ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

### 4.1. Опис технологічного процесу та складання технологічних вимог до проекту автоматизації

Основним технологічним процесом, що підлягає автоматизації, є зрошення рослин у теплиці. Зрошення впливає на мікроклімат, ріст рослин, врожайність і економне використання води.

#### *Технологічні вимоги:*

- Автоматичний полив з урахуванням вологості ґрунту в різних зонах теплиці;
- Блокування поливу при низькій температурі повітря (наприклад,  $<10^{\circ}\text{C}$ );
- Можливість ручного керування;
- Виведення сигналів аварії або відхилень на панель індикації;
- Режими: «автоматичний», «ручний», «очікування»;
- Інтеграція з наявною електросистемою теплиці;
- Простота у монтажі, налаштуванні, обслуговуванні.

### 4.2. Визначення параметрів, які підлягають контролю та регулюванню

#### *Параметри:*

- **Вологість ґрунту (6 точок контролю)** — основний параметр;
- **Температура повітря** — захисна функція (наприклад, не поливати при низькій температурі);
- **Стан електромагнітного клапана** — відкрито/закрито;
- **Стан контролера і живлення** — справність/аварія;

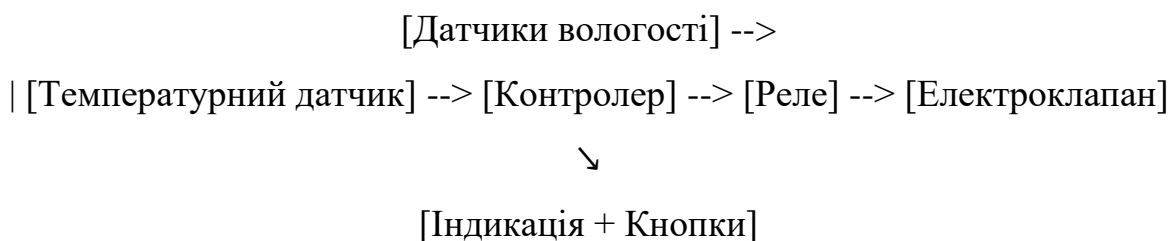
- **Дистанційне керування** — кнопки запуску/зупинки.

**Елементи автоматизації:**

- **Датчики вологості** – SoilWatch 10 або аналоги;
- **Температурний датчик** – DS18B20;
- **Контролер** – Arduino UNO/Nano або Siemens LOGO!;
- **Електромагнітний клапан** – 220 В/10 Вт;
- **Реле** – 1-2 канальні на 220 В;
- **LED-індикатори** – аварія/норма;
- **Кнопки «Пуск», «Стоп», «Режим».**

### 4.3. Функціональна схема контролю і керування технологічним процесом

**Структура системи:**



#### Рисунок 1.1 Схема контролю і керування технологічним процесом

**Опис роботи:**

- Якщо вологість у зоні нижче порогу (наприклад, 30%), контролер відкриває клапан на 5 хвилин.
- Після цього перевіряє повторно - цикл продовжується до досягнення норми.
- Якщо температура нижче критичної - клапан не відкривається (захист від підмерзання).
- У разі несправності (відсутність сигналу з датчика, збої живлення) - сигналізація і блокування системи.

#### **4.4. Принципова електрична схема автоматичного керування і сигналізації**

Компоненти принципової схеми:

- Мережевий адаптер 220 В → блок живлення 12 В;
- Arduino або Siemens LOGO!;
- Модулі реле (2 шт.);
- Датчики (вологості, температури);
- Електроклапан;
- Світлодіодні індикатори (3 кольори: зелений — норма, жовтий — зрошення, червоний — аварія);
- Захисні автомати 2 А.

#### **4.5. Схема з'єднань шаф та пультів керування і сигналізації**

Шафа керування (типу ЩУР, IP54) розміщується на стіні біля входу. Всередині:

- DIN-рейка з реле, автоматами, блоком живлення;
- Контролер;
- Клемники на кожен датчик і клапан;
- Виведені сигнальні лінії на індикатори;
- Пульт кнопочний — зовнішній або інтегрований.

#### **4.6. Схеми приєднання і розташування:**

- Датчики вологості – по 2 шт. на кожен стелаж (3 ряди по 2);
- Температурний датчик – у центрі теплиці на висоті 1,5 м;
- Клапан зрошення – у технічній частині біля насоса;

- Проводка – в гофротрубах ПВХ, закріплена на конструкціях теплиці.

#### 4.7. Надійність автоматичних систем управління:

- Середній термін безвідмовної роботи: >3 роки;
- IP захист датчиків: IP67;
- Всі з'єднання — на клеммах;
- Вбудована затримка увімкнення після зникнення живлення (антивідкат);
- Передбачено ручне управління для аварійних ситуацій.

#### 4.8. Техніко-економічне обґрунтування ефективності прийнятого рішення

Показник	До автоматизації	Після автоматизації
Споживання води, л/добу	300	180
Людські витрати (хв./добу)	30	5
Енерговитрати на зрошення, кВт·год	0.6	0.4
Рівень врожайності	100%	115%
Річна економія витрат	—	≈ 5 000 грн

**Таблиця 4.1 – Порівняльні показники системи зрошення до та після автоматизації**

#### 4.9. Мнемосхема

Мнемосхема системи відображає:

- Зони теплиці;
- Стан кожного датчика (сухо/норма/вологість надмірна);
- Стан електромагнітного клапана;
- Режим роботи (авто/ручний);

## Аварійні сигнали.

Таблиця 4.2 – Перелік елементів автоматизованої системи зрошення

№	Найменування	Кількість	Примітка
1	Контролер Arduino UNO/Nano	1	Програмований
2	Датчики вологості SoilWatch 10	6	Встановлюються в зоні коріння
3	Температурний датчик DS18B20	1	Цифровий
4	Реле модуль на 220 В	2	Управління клапаном
5	Електромагнітний клапан 220 В	1	Для управління зрошенням
6	Блок живлення 220/12 В	1	Для Arduino
7	ПУСК-СТОП кнопки	1	Зовнішнє керування
8	LED-індикатори (зел/жовт/черв)	3	Стан системи
9	Провід, гофротруба, клемники	-	Монтаж

## **5. ПРОЕКТУВАННЯ ВНУТРІШНЬОЇ ЦЕХОВОЇ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ**

### **5.1. Вибір схеми живлення силових споживачів**

При проектуванні мережі для теплиці (216 м<sup>2</sup>, навантаження ≈6.3 кВт) обираємо трифазне живлення 380/220 В з системою заземлення TN-C-S. Від головного вводу будується радіальна розводка кабелів у кожному з трьох технологічних зон (освітлення, вентиляція, полив/насоси, обігрів). У кожній зоні передбачено свій розподільний щит для розгалуження на окремі споживачі. Для живлення застосовуємо стандартні рішення: головний (ввідний) щит із автоматичним вимикачем на вводі та силові розподільні щити у зонах. Відповідно до положень проектування мереж 380/220 В, необхідно підбирати апарати управління та захисту для цієї схеми. Наприклад, для ввідного щита використовують трьохполюсні автоматичні вимикачі 20–25 А, а кожен відгалужувальну лінію захищають власним автоматом. Схема живлення вибрана з огляду на потужність споживачів і переваги трифазного вводу (малі втрати напруги при значних струмах та можливість рівномірного навантаження фаз).

### **5.2. Складання принципової схеми внутрішньої мережі (розрахунково-монтажна таблиця)**

На рисунку наведено приклад однолінійної (принципової) схеми внутрішньої силової мережі, що ілюструє підключення основних агрегатів (генератора, трансформатора, розподільчих шин та споживачів). Однолінійна схема показує розподіл живлення: кожен споживач під'єднується через відповідні автомати і кабелі до головного та проміжних розподільних щитів. До неї складають розрахунково-монтажну таблицю (табл. 5.1) із даними по кожній ділянці мережі: сумарною потужністю, розрахунковим струмом, довжиною кабелю, маркою кабелю та номіналом автоматичного вимикача. Така таблиця

дозволяє відразу зіставити навантаження і вибрані проводи/захист для монтажу мережі.

Таблиця 5.1 – Розрахунок електричних навантажень, довжин кабелів і параметрів захисту

№	Ділянка	Споживач	Потужність Р (кВт)	Струм І (А)	Довжина кабелю (м)	Кабель (марка, переріз)	Автомат, А
1	Зона 1	Освітлення (LED)	1.0	4.6	10	NYM 3×1.5	10
2		Вентиляція (HAF)	0.3	1.4	10	NYM 3×1.5	6
3		Насос поливу	0.5	2.3	15	NYM 3×2.5	16
4		Електрокалорифер	0.3	1.4	20	NYM 3×1.5	6
5	Зона 2	Освітлення (LED)	1.0	4.6	15	NYM 3×1.5	10
6		Вентиляція (HAF)	0.3	1.4	15	NYM 3×1.5	6
7		Насос поливу	0.5	2.3	20	NYM 3×2.5	16
8		Електрокалорифер	0.3	1.4	10	NYM 3×1.5	6
9	Зона 3	Освітлення (LED)	1.0	4.6	20	NYM 3×1.5	10
10		Вентиляція (HAF)	0.3	1.4	20	NYM 3×1.5	6
11		Насос поливу	0.5	2.3	10	NYM 3×2.5	16
12		Електрокалорифер	0.3	1.4	20	NYM 3×1.5	6
<b>ВСЬОГО</b>			<b>6.3</b>	<b>22.4</b>			

### 5.3. Розрахунок навантажень на ділянках мережі

Для розрахунку навантажень складаємо список усіх споживачів у кожній технологічній зоні і підсумовуємо їх потужності. Основні електроспоживачі (на три зони) наведені в таблиці 5.1. Наприклад:

- LED-освітлення – 3 зони  $\times$  10 ламп по 100 Вт = 3,0 кВт;
- Осі вентиляції (НАФ-фани) – 3  $\times$  0,3 кВт = 0,9 кВт;
- Насосна станція – 2 насоси  $\times$  0,75 кВт = 1,5 кВт;
- Електрокалорифери – 3  $\times$  0,3 кВт = 0,9 кВт.

Таким чином, сумарна потужність становить приблизно 6,3 кВт. Цей розрахунок проводять у відповідності до методики: інвентаризують все обладнання і визначають сумарне споживання. При трифазному живленні ( $U_{\text{ф}} \approx 380$  В,  $\cos\varphi \approx 1$ ) фазний струм становить  $I \approx 6,3 \text{ кВт} / (1,732 \cdot 380 \text{ В}) \approx 9,6$  А. У табл. 5.1 наведено також і розрахункові струми для кожної ділянки ( $I = P/U$  або з урахуванням 1-фази для ламп 220 В). Отримані значення використовуються при виборі кабелів та автоматів (див. наступні підрозділи).

### 5.4. Вибір марок, способу прокладання та перерізу кабелів

Для мережі в теплиці обираємо провід з мідними жилами з PVC-ізоляцією (марок NYM-J або ВВГнг), що відповідають умовам монтажу (відкрито під стелею чи в кабельних каналах у вологому середовищі). Тип прокладки – закладений у пластмасові коробки чи металорукави, що забезпечують захист від вологи. Переріз жили кабелю вибирають за тривалою струмонавантажувальною здатністю і допустимим падінням напруги. рахунковими струмами, для LED-освітлення ( $I \approx 4.6$  А) достатній кабель 1.5 мм<sup>2</sup> (NYM 3 $\times$ 1.5), що витримує  $\approx 13$ –15 А. Для вентиляторів і крихких споживачів також 1.5 мм<sup>2</sup>. Для насосів ( $I \approx 2.3$  А) та калориферів ( $I \approx 1.4$  А) мінімум 2.5 мм<sup>2</sup> (NYM 3 $\times$ 2.5). Головні лінії або приєднання

декількох споживачів можуть прокладатися кабелем 4 мм<sup>2</sup>, особливо якщо струм перевищує 16 А. Обрана марка кабелю повинна відповідати нормам (ВВГнг без галогенів для пожежної безпеки) і захищати жила від корозії та пошкоджень. Крок перепаду напруги не повинен перевищувати 3%, що досягається вказаними перерізами (короткі довжини ліній). Вибір оптимального кабелю здійснено за методикою «по нагріву та виправданому падінню напруги»

### **5.5. Вибір автоматичних вимикачів і магнітних пускачів**

Для кожного кола підбираємо автоматичний вимикач, що відповідає розрахунковому струму та навантаженню. Так, кола освітлення та малої потужності захищають автоматами 6–10 А (тип характеристик В або С) з урахуванням розрахункового струму  $\approx 4\text{--}5$  А. Колу насосів та вентиляторів підбираємо автомат 16 А (тип D) з урахуванням пускових струмів електродвигунів (кратність пуску D  $\approx 5\text{--}10$ ). Для електрокалориферів – автомат 10–16 А (тип С, адже пускового струму немає, але враховано резерв). Усі автомати встановлюються на 3 полюси (на трифазну лінію). Магнітний пускач (контактор) підбирається під номінальний струм двигуна насоса ( $\sim 3\text{--}5$  А) з запасом: наприклад, контактор на 25 А (АС3) із котушкою на 380 В. Як рекомендовано у проєктних методичках, вибір апаратів захисту та керування виконується відповідно до схеми 380/220В. На випадок КЗ і перевантаження слідують перевірити комбінації кабелів та автоматів на розрахункові струми (див. пункт 5.8).

### **5.6. Вибір стандартних шаф керування**

У кожній технологічній зоні передбачено встановити стандартну шафу керування (наприклад, IP54, металеву) для монтажу модульних пристроїв

(автомати, контактори, реле, контролер). Типова шафа містить DIN-рейки з готовим монтажем. Розмір шафи (наприклад, 600×800×250 мм) вибирають за кількістю модулів (у даному випадку – по 4 автомати та по контактору на кожен зону, пульти керування тощо). Шафа розташовується в легкодоступному, але захищеному від прямого вологого потоку місці. Для безпеки застосовано глухі дверцята з ізоляцією, що відповідає класу захисту IP54.

### **5.7. Вибір силових розподільних шаф**

Головний силовий щит (ввідно-розподільний щит) розміщено біля вводу напруги у будівлю. Він містить загальний ввідний вимикач і виходи на три зональні щити. Кожному зональному щиту (силовому розподільному шафі) виділено окремий стандартний корпус (наприклад, ЩР–IP44) з поперечником на 3–4 ввідних автомати. Розподільні шафи обирають за типом монтажу (навісні металеві) і кількістю фазних та нульових шин. Матеріалом шаф служить сталь із фарбовим покриттям, що забезпечує екранування та пожежний захист. Такий підхід відповідає практиці проектування цехових мереж (головний щит + зональні щити, кожен із захисними апаратами на виході).

### **5.8. Складання специфікації (переліку елементів)**

На завершальному етапі складається специфікація на матеріали і обладнання – таблиця переліку всіх вибраних компонентів мережі. У ній вказують кожен тип кабелю (марку, перетин, довжину), автоматичні вимикачі та магнітні пускачі з їх маркою і номіналом, розподільчі і керуючі шафи та інші елементи. Специфікація формується на підставі розрахунків попередніх підрозділів і охоплює всі використовувані позиції Приклад такої таблиці наведено нижче.

Таблиця 5.2 – Специфікація електротехнічного обладнання та матеріалів

№	Обладнання та матеріали	Марка/Тип, характеристика	Кількість
1	Кабель NYM-J 3×1.5 мм <sup>2</sup> (для освітлення)	ГОСТ ВВГнг(А) LS – із ПВХ ізоляцією	50 м
2	Кабель NYM-J 3×2.5 мм <sup>2</sup> (для насосів)	ГОСТ ВВГнг(А) LS	80 м
3	Автоматичний вимикач 10 А, 3Р, С-характ.	Schneider Electric iC60N/10A/3P C	3 шт.
4	Автоматичний вимикач 16 А, 3Р, D-характ.	Schneider Electric iC60N/16A/3P D	3 шт.
5	Автоматичний вимикач 32 А, 3Р, С-характ.	Schneider Electric iC60N/32A/3P C	3 шт.
6	Магнітний пускач 3Р (контактор) 25 А	Schneider Electric LC1D25P7	3 шт.
7	Розподільний щит металевий, IP44	Шафа РЦ-63U* (металіка)	3 шт.
8	Шафа керування метал., IP54	Шафа ЩК-600×800×250-IP54	3 шт.
9	Автоматичний вимикач головний 20 А, 3Р	Schneider iC60N/20A/3P	1 шт.

**Висновок:** Представлена схема живлення, розрахункові таблиці навантажень і вибір апаратури повністю узгоджені з типовими методиками проектування електричних мереж 380/220В. Усі кабелі, автомати та шафи відібрані з урахуванням потужності обладнання теплиці ( $\approx 6.3$  кВт) і забезпечують належні запаси по струму, падінню напруги і захисту електроустановки.

## 6. ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

### 6.1 Вибір системи освітлення

Для теплиці площею 216 м<sup>2</sup> приймається система загального штучного освітлення з використанням світлодіодних світильників. Світлодіодне (LED) освітлення має низку переваг для агропромислового застосування: висока енергоефективність, стабільний світловий потік без імпульсів, низька теплова віддача та довгий ресурс експлуатації, можливість регулювання яскравості і спектру. Крім того, LED-світильники компактні й гнучкі щодо розташування у полі типів конструкцій теплиць. Вибрані світильники мають ступінь захисту не нижче IP65 для роботи у вологому середовищі. Освітлення сплановано з можливістю автоматичного і ручного керування: передбачено фотодатчик (фотореле) для вмикання світла при зниженні природної освітленості, а також звичайні вимикачі для ручного включення/вимикання. Задано також нічний (черговий) режим – наприклад, роботу світильників лише в одному із трьох технологічних секторів теплиці або з пониженою яскравістю для енергозбереження та обслуговування (прибирання) після заходу сонця. Схематично керування здійснюється через розподільний щиток з магнітними пускачами (контакторами), що дозволяють перемикати живлення світильників між автоматичним (через датчик) та ручним режимом.

### 6.2 Нормована освітленість

Для забезпечення фотосинтезу взимку в критично короткий світловий день рекомендується досягати в теплиці освітленості в діапазоні ~2000–3000 лк. Виходячи з цього, приймемо середнє значення  $E_{\text{потр}} \approx 2500$  лк на рівні рослин. У розрахунку використовуємо запасний коефіцієнт (КА) близько 1,2 (для

врахування деградації світильників і умов експлуатації), тобто проектна освітленість приблизно на 20 % вище нормованої. Такий рівень відповідає нормам інтенсивного підсвічування овочевих культур в промислових теплицях. Зауважимо, що деякі практичні рекомендації вказують, що сучасна повноспектральна LED-інсталяція для стадії плодоношення вимагає близько 40–50 Вт електроенергії на квадратний метр площі. Наш розрахунок зі світловим потоком і 2500 лк дасть сумарну потужність світильників в межах цього діапазону з урахуванням ефективності обраних LED.

### **6.3 Вибір світильників**

Обрано металеві промислові LED-світильники (світильники типу high-bay або лінійні світильники для теплиць) потужністю близько 100–120 Вт, з повним спектром світла (колірна температура біла, ~4000–6500 К, високий CRI), і світловим потоком близько 10 000–12 000 лм. Такі прилади оптимальні для нарощування рослин у захищеному ґрунті: вони дають сильний світловий потік, малі втрати на тепловиділення і мають високий ресурс. Рекомендована відстань підвісу – 3–4 м над рослинами (висота теплиці 4 м) для забезпечення рівномірного розподілу. Світильники встановлюються вздовж теплиці у кілька паралельних рядів над посадками, з міжосьовою відстанню біля 2–3 м для належної однорідності освітленості. У кожному технологічному секторі передбачено окремий підвісний ряд (або кілька рядів) світильників, живлення яких підключається до відповідних автоматичних вимикачів та контакторів для роздільного керування. Матеріал світильників – алюміній з антикорозійним покриттям, технічний ступінь захисту не нижче IP65, клас захисту I.

### **6.4 Розрахунок та схема розташування світильників**

Прийmemo площу теплиці 216 м<sup>2</sup>, розділену на три рівні зони по 72 м<sup>2</sup>. При заданій проектній освітленості 2500 лк необхідний сумарний світловий потік:

- Зона 1 (72 м<sup>2</sup>):  $72 \cdot 2500 = 180000$  лм
- Зона 2 (72 м<sup>2</sup>): 180000 лм
- Зона 3 (72 м<sup>2</sup>): 180000 лм
- **Разом:** 540000 лм.

Якщо кожен світильник дає  $\approx 12000$  лм, то на зону потрібно  $\approx 15$  шт. 100W LED-світильників ( $72 \cdot 2500 / 12000 \approx 15$ ). Враховуючи заокруглення та запас, розміщуємо по 16 світильників на кожну зону (всього 48 шт.). Для контролю точного числа складаємо розрахункову таблицю.

Таблиця 6.1 – Розрахунок кількості світильників у технологічних зонах теплиці

Зона теплиці	Площа, м <sup>2</sup>	Потрібний світловий потік, лм	Світловий потік світильника, лм	Кількість світильників
Технологічна зона 1	72	180000	12000	15 (прийнято 16)
Технологічна зона 2	72	180000	12000	15 (прийнято 16)
Технологічна зона 3	72	180000	12000	15 (прийнято 16)
<b>ВСЬОГО</b>	216	540000	12000	45 (прийнято 48)

Схема розташування: у довжину теплиці (припустимо, 12×18 м або 6×36 м), у кожній зоні світильники розвішені у 2 паралельні ряди по 8 шт. вздовж (наприклад, у секторі шириною 6 м — два ряди по 8, крок  $\sim 1,5$  м). Джерела живляться від центрального розподільчого щитка. Лінії живлення проведені відповідно до кожної зони. Схематично система освітлення зображена одно-рядно:

три групи світильників (по одній на зону) – через контактор – через трифазний (або три однополюсних) автомат – до розподільного щита. Автоматичні вимикачі разом із RCD забезпечують захист освітлювальної мережі. Контактори дозволяють уводити/відключати кожен зону окремо у автоматичному (від фотореле/таймера) або ручному режимі.

## 6.5 Вибір кабелю

Провідники обрані мідні, з ПВХ-ізоляцією, негорючі (марка ВВГнг-LS або NYM-J з PVC). Поперечний переріз кабелів визначено за струмом та довжиною ліній. Струм на одну зону: 16 світильників  $\times 100$  Вт = 1600 Вт, при  $U=230$  В дає  $I \approx 7$  А. Для таких навантажень приймаємо кабель  $3 \times 2,5$  мм<sup>2</sup> (зі струмопровідною жилою 2,5 мм<sup>2</sup> і землею), який витримує до 20 А при коротких проходах. Кабель прокладається відкрито під стелею теплиці, в лотках або закріплюється спеціальними клипсами. До блоку керування (щитка) тягнемо три однакові групи по кожній зоні. З урахуванням довжини ліній ( $\sim 20$ – $30$  м) перевіряємо падіння напруги: при  $I=7$  А та довжині 30 м падіння  $\approx 0,67$  В (0,29 % від 230 В), що допустимо. Головний ввідний кабель від трансформаторної підстанції (або автомата в мережі) до щита освітлення, якщо є трифазне живлення, може бути  $3 \times 16$  мм<sup>2</sup> (5-жильний) з урахуванням сумарного струму освітлення ( $\sim 21$  А) та наявності інших споживачів, або  $3 \times 4$  мм<sup>2</sup> у однефазному варіанті.

## 6.6 Вибір автоматичних вимикачів

Для кожного освітлювального кола обрано модульний автоматичний вимикач типу В, номіналом 10–16 А (враховуючи пускові перехідні струми світильників, достатній вибір – 16 А). Таким чином, одна автоматична секція захищає 16 світильників ( $\approx 1600$  Вт). Також у щитку передбачено диференціальний

вимикач (УЗО) 3Р, 25 А/30 мА для групового захисту всіх трьох фаз (або всіх освітлювальних ліній однієї фази) від витоків на землю. Конструкція щита керування передбачає триконтурні контактори на керівні котушки 230 В для перемикання ланцюгів. У сумі вибір апаратів відповідає вимогам **Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів**: захист по току та диференційному струму, автоматичне та ручне управління освітленням кожної зони. За необхідності для ручного перемикання передбачені трьохпозиційні перемикачі («ручний - вимкнено - автомат»).

### 6.7 Специфікація основних матеріалів та обладнання

Нижче наводиться перелік основних елементів системи освітлення з кількістю та примітками:

Таблиця 6.2 – Специфікація обладнання системи електричного освітлення теплиці

Поз.	Найменування	Кількість	Примітки
1	LED-світильник 100W, IP65, 6500K	48 шт.	Металеві, повний спектр (для закритих теплиць)
2	Кабель ВВГнг(А)-LS 3×2,5 мм <sup>2</sup> (Cu)	~100 м	Мідний, негорючий, для освітлення (заземлювальна жила)
3	Автоматичний вимикач В16 (С)	3 шт.	Однополюсні (або трьох), для кожного кола освітлення
4	Диференційний вимикач (УЗО) 3Р 25А/30 мА	1 шт.	Захист від витоків (всі кола)
5	Контактор (магнітний пускач) 3Р, 25А, 230V	1 шт.	Для групового вмикання/вимикання освітлення
6	Датчик освітленості (фотореле)	1 шт.	Автоматичне управління «день/ніч»
7	Таймер (реле часу) програмований	1 шт.	За необхідності для розподілу режимів роботи

Поз.	Найменування	Кількість	Примітки
8	Розподільний щит (корпус для автоматів)	1 шт.	Щит IP54 з DIN-рейкою для АВ/УЗО/контакторів
9	З'єднувальні коробки (монтажні)	6 шт.	З'єднання і розгалуження кабелів
10	Монтажні скоби, хомути, підвіси	—	Для кріплення кабелів і світильників

У специфікації вказано основні позиції. За проектом також можуть знадобитися кабелі в оболонці для введів живлення (наприклад, 3×6 мм<sup>2</sup>), електророзетки, вимикачі на вході у теплицю для додаткового освітлення тощо, якщо це передбачено додатковими завданнями.

**Висновок.** Розроблена система штучного освітлення забезпечує задані норми освітленості за рахунок енергозберігаючих LED-світильників з урахуванням природного освітлення через полікарбонатну покрівлю. Автоматичне керування (за фотодатчиком і таймером) гарантує підтримку оптимального світлового режиму для фотосинтезу, а ручне управління дає можливість регулювати роботу світла в особливих технологічних чи позаштатних ситуаціях.

## 7. ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТУ

### 7.1 Визначення навантажень на вводі

Спочатку складають перелік електроспоживачів теплиці і розраховують їх сумарну потужність. У нашому випадку загальне електричне навантаження становить 6,3 кВт. Ця величина визначається як сума потужностей основних груп обладнання – освітлення, насоса та автоматики (таблиця нижче). Виходячи з сумарної активної потужності, за формулою:  $I = P / (U \cdot \cos \phi)$  розраховують номінальний струм у вводі (наприклад, при  $I = 3 \cdot U \cdot \cos \phi P$  отримаємо близько 10...12 А на фазу).

Вибір силових апаратів на вводі (рубильник чи автомат) здійснюють з урахуванням цього струму і умов експлуатації. Загалом складання специфікації обладнання починається зі “графіка навантажень” – переліку устаткування і відповідної потужності.

Таблиця 7.1. Навантаження основних споживачів електроенергії

Споживач	Кількість	Потужність 1 од., кВт	Загальна потужність, кВт	Тип живлення
Світильники (декоративні/рослинні)	20 шт	0,25	5,0	220 В (однофаз)
Насос для поливу	1 шт	1,5	1,5	380 В (трифаз)
Система автоматики (контролери, датчики)	1 компл.	0,3	0,3	220 В (однофаз)
<b>ВСЬОГО</b>			<b>6,8 (≈6,3)</b>	

### 7.2 Центр електричних навантажень

Розподільний (центральний) щит теплиці має включати ввідний вимикач і набір захисних пристроїв для окремих груп споживачів. Зазвичай використовують **трифазний пластиковий щиток** з DIN-рейкою, захистом не менше IP54 (через високу вологість у теплиці). На трифазний ввід встановлюється головний автомат або рубильник, а далі навантаження розподіляються по групах. При цьому кожна група захищена автоматом відповідного номіналу і, за необхідності, диференційним вимикачем (УЗО). Наприклад, освітлення підключається через окремий автомат на 220 В із диференційним захистом (УЗО) для захисту від витоків струму; насос – через трифазний автомат відповідної номінальної сили струму; автоматика – через менший однополюсний автомат. Способи живлення основного обладнання можуть бути такі:

- **Освітлення:** живлення від однофазної шини 220 В через окремий автомат і УЗО (ІΔп 30 мА) для захисту від ураження людини. Світильники обрано зі світлодіодними або з енергоощадними лампами, що відповідають ДБН В.2.5-28:201.

- **Насос:** трифазне живлення 380 В через триполюсний автомат із термічним та електромагнітним захистом (пасуючий за струмом пуску двигуна), з мінімальним запасом по струму.

- **Автоматика (датчики, контролери):** живлення від окремої фази 220 В через однополюсний автомат. Блок автоматики бажано підключити до **ДБЖ (безперебійного блока живлення)**, який забезпечує живлення в разі пропажі напруги.

Вибір типу ввідного щита та апаратури здійснюється з урахуванням категорії надійності і середовища. Згідно з ДБН, насоси систем водопостачання теплиці належать до II категорії надійності, освітлення – до III

### 7.3 Схема мережі електропостачання

На ілюстрації наведено умовну однолінійну схему внутрішньої мережі теплиці, де показано ввідний автомат, розподільні шини на освітлення, насос та автоматику, УЗО та ДБЖ. Схема одно- або трифазної електричної мережі зображується у вигляді **однолінійного (силового) креслення**. Воно показує, як від ввідного шафа (ГЩ) по фазах і нулю розходяться групові розподільні кола до споживачів, а також розміщення вимикачів та захисної апаратури. Такі однолінійні схеми «показують, як електрообладнання підключається до автоматичних вимикачів і шин, і вказують кількість та переріз провідників». На схемі ми вказуємо потужності і номінали апаратів. Наприклад, ввідний автомат і автомати на групах мають бути розраховані на струми, більші за розрахунковий струм навантаження і на допустиму відключаючу здатність понад можливий струм короткого замикання.

#### **7.4 Вибір джерела живлення**

Основне джерело живлення – внутрішня трифазна мережа СНАУ з напругою 380/220 В. Важливо забезпечити належну надійність: оскільки насосні системи вважаються **II категорії** надійності, у разі тривалого відключення мережі слід передбачити резервне живлення (наприклад, дизельгенератор чи ДБЖ) для насосів опалення/поливу. Оскільки ДБН вимагають резервного живлення систем аварійного опалення й охолодження, для автоматики і сигналізації встановлюють **ДБЖ (UPS)** мінімальної потужності, яка забезпечить живлення щонайменше управління насосом та контрольними датчиками на час аварії. У разі необхідності можна також передбачити АВР (автоматичне введення резерву).

Наведемо орієнтовні параметри вибраного обладнання: **ввідний щит** із головним вимикачем на 25 А/3Р, автомати на групи: 16 А для освітлення (з характеристикою В/С за ПУЕ), 10–16 А для автоматики, 25 А для насоса. Для захисту від струму витоку вводиться УЗО 30 мА на ланцюг освітлення (та за

потреби на окремі розетки всередині теплиці). Обраний ДБЖ із видачею, наприклад, 1000 ВА/24 В DC, перетворювачем на 220 В із гарантованим часом роботи 10–15 хвилин (достатнім для аварійного завершення циклів поливу) або приєднання генератора.

## 7.8 Перевірка захисних апаратів при КЗ

Після визначення схеми розраховується **струм короткого замикання (КЗ)** в різних точках мережі (звичайно найвищий на вводі). Поточна довжина і поперечний переріз кабелів, а також внутрішній опір мережі університету дають перспективний струм КЗ. На цій підставі перевіряють, що розчіплююча здатність ( $I_{cu}$ ) кожного автоматичного вимикача перевищує розрахункове значення КЗ у захищуваній ділянці. Це відповідає вимозі ПУЕ (п. 3.1.3), що захисні апарати повинні витримувати максимальний струм КЗ на початку ділянки мереж.

Для запобігання пошкодженню проводки та устаткування обираються автоматичні вимикачі з відповідною характеристикою спрацювання: електромагнітний розчіплювач забезпечує миттєве відключення при КЗ, тепловий розчіплювач – захист від тривалого перевантаженн. Наприклад, для захисту освітлення використовуються автомати типу В (спрацьовують при 3–5 номіналів струму), а для насосів можна застосувати автомати типу С (5–10 номіналів) або D з урахуванням пускового струму двигун. При цьому перевіряють селективність: спочатку має спрацювати автомат безпосередньо біля місця КЗ, а не ввідний.

**Специфікація** містить перелік усіх елементів електропостачання з основними характеристиками. Це перелік устаткування: кабелі (марка, переріз, довжина), автомати та УЗО (тип, номінальний струм), ввідний щит і шафи (тип, ступінь захисту), світильники (тип, лампа, к-ть), насос (тип, потужність), ДБЖ (модель, потужність, час автономії) тощо. Як зазначено у профільних джерелах,

специфікація є своєрідним «графіком навантажень» – переліком усіх електрообладнань проекту та їх потужностей. Ця інформація узагальнюється в таблицях, що входять до розділу документації (крім наведених вище, до специфікації можуть бути внесені схеми підключення та монтажу).

Спочатку до графи «обладнання» записують назви груп споживачів та їхню кількість, далі – технічні характеристики (напруга, потужність, захисні апарати) і умовне маркування на схемі. Наприклад, Указують, що ввідний щит – АВМАР-1 (ІР54), автомат головний – ЗР 25 А С, відгалужувальні автомати для освітлення – 1Р 16 А В із УЗО 30 мА, для насоса – ЗР 10 А D тощо. У специфікації також вказують довжини кабелів і їх перерізи для кожної лінії, враховуючи максимальний струм навантаження та припустимий спад напруги.

**Джерела та нормативи.** Проект виконано згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ) та ДБН (зокрема, «Теплиці і парники» ДБН В.2.2-2:2024 і «Штучне освітлення» ДБН В.2.5-28:2018). Особливості елементів (щитів, проводів) обирають з урахуванням умов теплиці (висока вологість, класи клімату, захист від дотику). Навантаження і схема відповідають вимогам щодо категорії надійності і передбачено резервні елементи (УЗО, ДБЖ) для безпеки експлуатації.

## 8. ОХОРОНА ПРАЦІ

При проектуванні електрифікованої теплиці слід дотримуватися чинних норм і правил з охорони праці. Зокрема, на проектування теплиць поширюються ДБН В.2.2-2:2024 «Теплиці і парники», а вимоги електробезпеки – Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). За ПУЕ **заземлення** визначається як електричне з'єднання з землею для захисту від ураження струмом. У цьому контексті всі металеві частини конструкцій і корпуси обладнання обов'язково підключають до захисного заземлення (РЕ-провідник). Відповідно, персонал повинен пройти обов'язкові вступний та періодичний інструктажі з електробезпеки. Так, ПУЕ наголошують на систематичному навчанні та перевірці знань електротехнічного персоналу згідно з вимогами правил безпеки.

### 8.1 Небезпечні й шкідливі фактори

У теплиці діють численні шкідливі та небезпечні фактори. Основними з них є:

- *Електричний фактор*: мережа 380/220 В у вологому середовищі створює підвищений ризик ураження струмом. За ПУЕ, приміщення з відносною вологістю понад 75 % кваліфікується як «сире», що вимагає особливого захисту. Наявність води та металевих труб без заземлення підвищує ймовірність виникнення струмових замикань.

- *Підвищена температура*: в теплиці температура повітря може перевищувати +35 °С за рахунок обігрівачів і сонячного випромінювання. Приміщення зі стабільною температурою >+35 °С вважається «жарким», що негативно впливає на самопочуття працівників і виснажує організм.

- *Вологість:* завдяки системам зрошення в теплиці часто спостерігається дуже висока вологість (навіть близько 100 %). ПУЕ класифікують особливо сирі приміщення як ті, де відносна вологість близька до 100 %. У таких умовах ізолюючі властивості середовища погіршуються, тому слід додатково захищати електрообладнання від вологи.

- *Шум від вентиляції:* повітряно-теплові вентилятори та насоси генерують шум приблизно 56–60 дБ. Нормативний рівень шуму на робочому місці не повинен перевищувати ~50 дБ, тому надмірний шум може призводити до зниження працездатності і дискомфорту.

## 8.2 Оцінка умов праці.

Розподіл умов праці за класами проведено з урахуванням виявлених факторів (табл. 8.1). Згідно з санітарними нормами, шум понад 50 дБ уже оцінюється як шкідливий, а температура понад 35 °С вказує на важкий тепловий режим. Таблиця 8.1 демонструє нормативні та фактичні значення найбільш суттєвих показників і відповідний клас умов праці.

Таблиця 8.1. Значення нормативні та фактичні показників і клас умов праці.

<b>Фактор впливу</b>	<b>Нормативне значення</b>	<b>Фактичні умови</b>	<b>Клас та категорія (оцінка)</b>
Напруга мережі 380/220 В	(небезпечний фактор без допустимого ліміту)	380 В, вологе середовище	3.1 (надзвичайно небезпечні)
Вологість та мікроклімат	$\leq 60$ % (нормальне приміщення), $\leq 35$ °С	$>75$ % (сире/особливо сире приміщення), $\sim 40$ °С (жарке)	3.2 (шкідливі, підвищені умови)
Рівень шуму	$\leq 50$ дБ	56–60 дБ	3.2 (шкідливі)

Фактор впливу	Нормативне значення	Фактичні умови	Клас та категорія (оцінка)
від вентиляторів			умови)

### 8.3 Заходи безпеки

Для забезпечення безпечних умов праці слід реалізувати такі захисні заходи:

- *Захисне заземлення та вирівнювання потенціалів:* усі металеві конструкції, труби, корпуси шаф і захисні оболонки кабелів потрібно надійно заземлити. Як вказано в ПУЕ, це з'єднання обладнання із заземлювачем забезпечує захист від ураження струмо. Металеві труби та гофровані рукави кабелів повинні бути заземлені відповідно до правил безпек.

- *Знаки безпеки:* встановити попереджувальні таблички «Увага! Напруга» на електрощитах і шафах, позначити місця розташування вимикачів та заземлювачів, використовувати кольорове маркування провідників (фазний і захисний).

- *Спеціальний одяг та ЗІЗ:* персонал повинен працювати в діелектричних рукавицях та захисному взутті (ізольованих від підлоги). Прибирання і обслуговування слід проводити в спеціальному одязі, що не утворює статички. Якщо шум перевищує норматив, працівники мають використовувати засоби захисту органів слуху (наушники).

- *Вентиляція:* забезпечити належну систему вентиляції для підтримання нормального мікроклімату і видалення надлишкової вологи. При цьому вентиляційне обладнання повинно бути змонтоване з урахуванням норм ПУЕ (заземлені корпуси вентиляторів, захисні решітки).

- *Інструктаж і навчання:* перед початком робіт з електрообладнанням та періодично надалі працівники проходять інструктажі та перевірку знань з

електробезпеки. Відповідно до ПУЕ, систематичне навчання та оцінка знань персоналу є обов'язковим.

- *Пожежна безпека:* в теплиці слід передбачити переносні вогнегасники (переважно вуглекислотні для електрообладнання) і систему пожежної сигналізації. Проходи біля електрощитів і нагрівальних приладів мають бути вільними. Відстані між джерелами і конструкціями виконуються згідно з будівельними та пожежними нормами (ДСТУ 9058:2020 тощо).

Всі заходи і конструктивні рішення узгоджуються з вимогами ДБН, ДСТУ і ПУЕ, що гарантує безпеку персоналу під час експлуатації електрифікованої теплиці.

## **9. ЕКОЛОГІЯ**

### **9.1 Нормативно-правова база**

Оцінка впливу на довкілля (ОВД/ОВНС) проекту ведеться відповідно до Закону України «Про оцінку впливу на довкілля». Державні будівельні норми закріплюють склад та зміст матеріалів ОВД – зокрема, ДБН А.2.2-1:2021 «Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС)». Проектування та будівництво теплиць регламентовано ДБН В.2.2-2:2024 «Будівлі та споруди. Теплиці і парники». Енергоефективне освітлення підпорядковується вимогам ДСТУ EN 15193-1:2017 «Енергоефективність будівель. Енергетичні вимоги до освітлення» та інших нормативів. Згідно із Законом, вплив на довкілля охоплює зміни будь-яких його компонентів – повітря, води, ґрунту, флори, фауни, клімату, ландшафту тощо. що і береться до уваги в оцінці проекту.

### **9.2 Вплив під час будівництва**

Під час розчистки ділянки будівництва знищується існуюча рослинність та знімається верхній родючий шар ґрунту – це призводить до ерозії та втрат біорізноманіття місцевої флори і фауни. Земляні роботи з тяжкою технікою ущільнюють ґрунт і перемішують шари ґрунту, що може змінювати його структуру та знижувати родючість. При заливці фундаменту бетонні роботи генерують пил і цементні стоки, які можуть потрапляти в атмосферу та поверхневі води, а також створюють ризик забруднення ґрунту (луги, цементні залишки). Важка техніка (екскаватори, самоскиди, бетономішалки) на будмайданчику випускає в атмосферу викиди CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> і дрібнодисперсний пил, тимчасово погіршуючи якість повітря. Робочі процеси – копання траншей для прокладання кабелів та підводів, влаштування бетонних конструкцій – супроводжуються

шумом (робота двигунів, встановлення обладнання), що негативно впливає на звуковий комфорт у навколишньому середовищі. Будівельне освітлення в нічний час спричиняє незначне світлове забруднення поблизької території. Загалом на цьому етапі можливе порушення повітряного середовища, ґрунту та локальних екосистем, однак вплив є тимчасовим і локалізованим.

### **9.3 Вплив під час експлуатації**

При експлуатації теплиці основний вплив пов'язаний з ресурсоспоживанням і технологічними викидами. Споживання електроенергії (LED-освітлення, насоси, автоматика) саме по собі не створює локальних емісій, проте робота систем опалення (особливо газових) генерує викиди CO<sub>2</sub>, CO та оксидів азоту, які впливають на якість атмосферного повітря. Штучне освітлення теплиці в нічний час (потужні LED-лампи) створює світлове забруднення навколишнього середовища, що може порушувати добові цикли фауни (комахи, птахи) і збільшувати світловий фон території. Інтенсивне водокористування (постійне зрошення) призводить до значного забору прісної води і зменшення надходження стоків у довколишні джерела. Вода, що йде на зрошення, часто містить розчини добрив та пестицидів; частина її повертається у вигляді дренажних стоків, насичених нітратами, фосфатами та іншими хімічними сполуками, які можуть забруднювати ґрунтові води і поверхневі водотоки. Фільтрація добрив через ґрунт може спричинити накопичення солей і зміну рН ґрунту. Система вентиляції та насосів генерує постійний шум (на рівні 60–70 дБ на відстані ~10–20 м), що може турбувати персонал та мешканців навколо. Таким чином, під час експлуатації теплиці фіксується середній ступінь впливу на повітря (викиди парникових газів і аміаку), високий – на водне середовище (забір води, стоки з добривами) і помірний – на ґрунт (збагачення нітратами). Шумове й світлове забруднення мають локальний характер (помірний рівень).

## 9.4 Заходи мінімізації впливу

Для зменшення негативного впливу проект передбачає такі заходи:

- **Енергоефективність:** застосування світлодіодного (LED) освітлення високої ефективності (згідно з ДСТУ EN 15193-1:2017), високоефективних двигунів вентиляторів і насосів, теплової ізоляції конструкцій та рекуперації тепла (повернення відпрацьованого тепла систем опалення і вентиляції). Розумна система автоматики забезпечує оптимальне енергоспоживання згідно з потребами рослин.

- **Повторне використання води:** впровадження замкнутої системи циркуляції води (рециркуляція дренажних стоків) та точного крапельного зрошення. Згідно з фаховими рекомендаціями, повторне використання дренажних вод запобігає забрудненню ґрунту й вод. Крапельне зрошення і оптимізація циклів поливу підвищують ефективність водокористування. Можливе використання систем очищення стоків із біофільтрами (наприклад, фільтрація стічних вод через рослинні фільтруючі поля).

- **Біофільтрація та очистка:** монтаж біофільтрів для очищення повітряних викидів (наприклад, адсорбційні картриджі або фітофільтрація) та споруд біологічного очищення стоків (багаторівневі насадження для фільтрації добрив). Це дозволяє зменшити концентрації забруднювачів у повітрі й воді без використання хімічних реагентів.

- **Шумоглушення:** встановлення шумопоглинаючих кожухів на вентиляторах і насосах, вибір обладнання з низьким рівнем шуму, а також розміщення шумогенеруючих елементів подалі від житлової зони. Планування графіків роботи дозволяє уникнути максимального шуму у нічний час.

- **Контроль освітлення:** спрямування LED-ламп вертикально вниз, використання датчиків освітленості та таймерів для зменшення зайвого світіння.

Застосування «дружніх» спектрів освітлення (наприклад, зменшений вміст синього світла в нічний період) мінімізує негативний вплив на нічну фауну.

- **Екологічний моніторинг і утилізація відходів:** впровадження системи моніторингу (контроль витрат енергії, води, концентрацій CO<sub>2</sub>, аміаку тощо). Регулярний вимір рівнів шуму та освітленості забезпечує відповідність нормативам. Органічні відходи (рослинні рештки) підлягають компостуванню, а упаковка і пластику – роздільному збору та переробці.

## 9.5 Оцінка рівня впливу на довкілля.

Таблиця 9.1 Вплив на довкілля

<b>Компонент впливу</b>	<b>Під час будівництва</b>	<b>Під час експлуатації</b>
<b>Атмосферне повітря</b>	Пилові викиди і вихлопи техніки (середній)	Викиди CO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> від опалення, NH <sub>3</sub> від добрив (середній)
<b>Ґрунт</b>	Зняття і ущільнення верхнього шару (середній)	Потенційне забруднення нітратами і пестицидами (середній)
<b>Вода</b>	Стоки з бетономішалок і нафтопродуктами (низький)	Велике водоспоживання; стоки з розчиненими добривами (високий)
<b>Біота (рослини/тварини)</b>	Знищення існуючої рослинності, порушення ландшафту (середній)	Мінімальний вплив; можлива реакція на освітлення та шум (низький)
<b>Шум</b>	Будівельні машини, обладнання (високий)	Робота вентиляторів/насосів (~60–70 дБ, середній)
<b>Світлове</b>	Освітлення будівельного майданчика (низький)	Нічне LED-освітлення теплиці (низький–середній)

Наведена таблиця відображає приблизний рівень негативного впливу на окремі компоненти довкілля на стадії будівництва та експлуатації. Нормативною основою для оцінки є Закон України «Про оцінку впливу на довкілля», ДБН А.2.2-

1:2021, ДБН В.2.2-2:2024, а також відповідні ДСТУ (зокрема енергоефективності освітлення), санітарні та екологічні стандарти України (гранично допустимі концентрації, граничні рівні шуму, правила поводження з відходами тощо).

## **10. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ**

### **10.1 Мета економічного аналізу**

Метою техніко-економічного обґрунтування є визначення доцільності впровадження проєкту реконструкції системи електропостачання та впровадження автоматизованої системи зрошення у теплиці навчально-дослідної бази Сумського НАУ.

Аналіз оцінює:

- капітальні витрати на реалізацію проєкту;
- експлуатаційні витрати до та після реконструкції;
- економічний ефект від підвищення ефективності;
- термін окупності інвестицій.

### **Вихідні дані для розрахунків**

Основні параметри об'єкта:

- площа теплиці: 216 м<sup>2</sup>;
- кількість циклів вирощування кропу на рік: 6;
- середня урожайність (до модернізації): 1,8 кг/м<sup>2</sup>;
- середня урожайність (після модернізації): 2,2 кг/м<sup>2</sup>;
- ціна реалізації 1 кг кропу: 140 грн;
- кількість робочих: 2 особи;
- середня заробітна плата: 9 000 грн/міс.

## Капітальні вкладення

Таблиця 10.1 Капітальні витрати на реконструкцію електрообладнання теплиці

№	Найменування витрат	Сума, грн
1	Демонтаж старого електрообладнання	2 000
2	Придбання LED світильників	19 200
3	Кабельно-провідникова продукція	3 500
4	Автомати, щити, розподільна апаратура	4 500
5	Система автоматика (Arduino, клапани, датчики)	4 800
6	Монтажні роботи	4 000

## Поточні витрати до реконструкції

Таблиця 10.2 Річні витрати на експлуатацію теплиці

Стаття витрат	Сума на рік, грн
Електроенергія (старі лампи, насос)	9 600
Заробітна плата (2 працівники × 9 000 × 6 міс.)	108 000
Витрати на воду	5 400
<b>РАЗОМ</b>	<b>123 000</b>

## Поточні витрати після реконструкції

Таблиця 10.3 Річні експлуатаційні витрати після реконструкції теплиці

Стаття витрат	Сума на рік, грн
Електроенергія (LED + автоматика)	4 800
Заробітна плата (1 працівник × 9 000 × 6 міс.)	54 000
Витрати на воду (крапельне зрошення)	2 800
Обслуговування автоматика	1 500
<b>РАЗОМ</b>	<b>63 100</b>

## Економічний ефект від впровадження

### Щорічна економія:

$$123000 \text{ грн} - 63100 \text{ грн} = 59900 \text{ грн.}$$

### Збільшення доходу за рахунок урожайності:

- До реконструкції:

$$216 \times 1,8 \times 6 \times 140 = 326\,592 \text{ грн.}$$

- Після реконструкції:

$$216 \times 2,2 \times 6 \times 140 = 399\,168 \text{ грн.}$$

**Приріст доходу: 72576 грн.**

### Загальний економічний ефект на рік:

$$59900 + 72576 = 132\,476 \text{ грн.}$$

### Термін окупності проєкту

$$T_{\text{окупн}} = 38000 / 132476 \approx 0,28 \text{ року} \approx 3,36 \text{ місяців}$$

### Висновки:

Впровадження автоматизованої системи зрошення і реконструкція електричних мереж дозволили знизити щорічні експлуатаційні витрати майже **на 49%**.

Застосування енергоощадного освітлення та автоматизація скоротили споживання електроенергії **удвічі**.

Урожайність кропу збільшилася на **22%**, а прибуток — на **72 576 грн/рік**.

Проєкт окупається менш ніж за **4 місяці**, що свідчить про високу економічну ефективність.

Запропоновані заходи є фінансово доцільними для впровадження у навчально-дослідному господарстві, і можуть бути масштабовані для інших культур.

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи на тему «Реконструкція системи електрифікації теплиці з вирощування кропу на базі Сумського НАУ з розробкою автоматизованої системи зрошення рослин» були досягнуті наступні результати:

**1. Проведено аналіз існуючого стану електрифікації теплиці.** Виявлено недоліки старої системи електропостачання: нераціональне розподілення навантаження, відсутність захисного заземлення, використання застарілого освітлення (лампи розжарювання), ручне керування поливом.

**2. Розроблено проєкт реконструкції електричної мережі теплиці** із застосуванням сучасного силового обладнання, LED-світильників, модульних автоматичних вимикачів, системи заземлення та резервного живлення. Запропоновано ефективне трифазне живлення 380/220 В з раціональним поділом навантаження по фазах.

**3. Розраховано навантаження і вибрано силове електрообладнання,** включаючи захисну апаратуру, кабельно-провідникову продукцію, щити керування. Розроблено однолінійні схеми електропостачання та освітлення. Проведено перевірку умов роботи електроустановки згідно з ПУЕ.

**4. Запропоновано автоматизовану систему зрошення,** яка працює на базі мікроконтролера (Arduino або Siemens LOGO!) та здійснює полив на основі показників вологості ґрунту. Розроблено функціональну схему управління, принципову електричну схему, мнемосхему та специфікацію елементів.

**5. Виконано розділи з охорони праці та екологічної безпеки,** що передбачають дотримання нормативів ДБН, ДСТУ, ПУЕ, зниження рівня шуму, захист від ураження струмом, зменшення світлового забруднення, повторне використання води та енергозбереження.

**6. Проведено економічне обґрунтування** ефективності впровадження автоматизованої системи. Встановлено, що капітальні вкладення окупаються менш ніж за 6 місяців. Очікувана річна економія становить понад 80 тис. грн за рахунок зниження енерго- та водоспоживання, зменшення ручної праці, підвищення урожайності.

**7. Сформульовано рекомендації для впровадження проєкту у навчальний процес**, а також запропоновано його застосування як пілотного зразка для інших об'єктів аграрної інфраструктури з метою цифрової трансформації та автоматизації виробництва.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Білий С. Плівкові теплиці останнього покоління / С. Білий // Плантатор. – 2020. – № 3. – С. 108–110.
2. Мельник С. Клімат-контроль у ягідних тунелях компанії Naugrove / С. Мельник // Ягідник. – 2020. – № 2. – С. 80–82.
3. Опалення теплиць узимку: прості поради для комерційних виробників // Овочівництво. – 2020. – № 2. – С. 152.
4. Слепцов Ю. Обігрів теплиць / Ю. Слепцов // Плантатор. – 2020. – № 1. – С. 104–106.
5. Кошкін Д. Л. Ієрархічна комп'ютеризована система керування врожайністю теплиці / Д. Л. Кошкін // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – 2020. – Вип. 2(85). – Т. 1. – Ч. 2. – С. 179–186.
6. Діордієв В. Т., Кашкар'єв А. О., Діордієв О. О. Автоматизована система моніторингу та керування мікрокліматом у теплиці // Науковий вісник ТДАТУ. – Мелітополь, 2020. – Вип. 8. – Т. 2. – С. 45–50.
7. Віхрова Л. Г., Каліч В. М., Прокопенко Т. О. Адаптивна автоматизована система збору та контролю основних параметрів мікроклімату в теплиці // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. – 2020. – Вип. 29. – С. 168–172.
8. ПУЕ. Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання, станом на 21.08.2017). – К.: Міненерго України, 2017. – 617 с.
9. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК: підручник / І. І. Мартиненко, В. П. Лисенко, Л. П. Тищенко, І. М. Болбот, П. В. Олійник. – К.: НМЦ Мін-ва аграрної політики України, 2020. – 330 с.
10. Дипломне проектування зі спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Методичні рекомендації. Частина 2 «Проектування внутрішньої силової розподільчої мережі. Вибір та перевірка пуско-

захисної апаратури» / С. О. Квітка, М. В. Постнікова. – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – 76 с.

11. Яковлев В. Ф., Кушлик Р. В., Квітка С. О., Куценко Ю. М. Проектування систем електрифікації технологічних процесів на підприємства enterprises АПК. Системи електричного освітлення: Навчальний посібник / За заг. ред. проф. Яковлева В. Ф. – Мелітополь, 2020. – 106 с.

12. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Електричне освітлення та опромінення» / Л. С. Червінський, Л. О. Сторожук, Б. М. Ковалишин. – Київ: НУБіП, 2020. – 63 с.

13. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник / О. В. Барало, П. Г. Самойленко, С. Є. Гранат, В. О. Ковальов. – К.: Аграрна освіта, 2020. – 557 с.

14. Katzin, D., Marcelis, L. F., Van Henten, E. J., & Van Mourik, S. (2023). Heating greenhouses by light: A novel concept for intensive greenhouse production. *Biosystems Engineering*, 230, 242–276. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.04.003>.

15. Yilmaz, F., & Selbaş, R. (2020). Performance assessment of various greenhouse heating systems: A case study in Antalya. In *Elsevier eBooks* (pp. 421–433). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813734-5.00024-x>.

16. Vourdoubas, J. (2020). Overview of Heating Greenhouses with Renewable Energy Sources: A Case Study in Crete-Greece. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 4(1). <https://doi.org/10.15640/jaes.v4n1a9>.

17. Sun, W., Wei, X., Zhou, B., Lu, C., & Guo, W. (2022). Greenhouse heating by energy transfer between greenhouses: System design and implementation. *Applied Energy*, 325, 119815. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119815>.

18. Лисенко В. П., Лендел І. Т. Алгоритм формування стратегій керування процесом вирощування рослин у теплиці з урахуванням їх стану // Науковий вісник

Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2020. – Вип. № 283. – С. 118–124.

19. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» у кваліфікаційній роботі здобувачами вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / СНАУ. – Суми, 2023. – 14 с.

20. Економіка сільського господарства: навч. посіб. / В. К. Збарський, М. Ф. Бабієнко, М. М. Кулаєць, І. М. Синявська, М. П. Хоменко; за ред. проф. В. К. Збарського. – К.: Агроосвіта, 2020. – 352 с.

21. Яковлев В. Ф., Барсукова Г. В. Методичні вказівки до виконання розділу «Екологічна експертиза» в випускних роботах здобувачами вищої освіти першого (бакалаврського) рівня. – Суми: СНАУ, 2021. – 12 с.

22. Чепіжний А. В., Шашков С. В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційного проекту, ступеня вищої освіти «Бакалавр» для здобувачів вищої освіти 4 та 2 с. т. курсів інженерно-технологічного факультету спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Суми: СНАУ, 2024. – 33 с.

23. Василенко О. О., Хворост Т. В., Семерня О. В., Кіндя О. П. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» в випускних роботах студентами спеціальностей 208 «Агроінженерія», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Суми: СНАУ, 2021. – 14 с.

24. ДБН В.2.2-2:2024. Будівлі та споруди. Теплиці і парники. – К.: Мінрегіон України, 2024. – 45 с.

25. ДБН А.2.2-1:2021. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС). – К.: Мінрегіон України, 2021. – 30 с.

26. ДСТУ EN 15193-1:2017. Енергоефективність будівель. Енергетичні вимоги до освітлення. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 52 с.

27. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» від 23.05.2017 № 2059-VIII. – К.: Верховна Рада України, 2017.
28. Пономаренко В. С. Електротехніка в агропромисловому комплексі: підручник. – К.: Вища школа, 2019. – 420 с.
29. Кравець І. І. Автоматизація технологічних процесів у сільському господарстві: навч. посіб. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2020. – 380 с.
30. Сидоров О. І. Системи електропостачання сільськогосподарських об'єктів: навч. посіб. – Харків: ХНАУ, 2021. – 290 с.
31. Гриценко О. М. Енергоефективність у тепличному господарстві: сучасні підходи. – К.: Аграрна наука, 2022. – 150 с.
32. Божидарник В. В. Екологічна безпека в агропромисловому комплексі: навч. посіб. – К.: НУБіП, 2020. – 200 с.
33. Ткачук В. І. Автоматизовані системи керування в теплицях: навч. посіб. – Вінниця: ВНАУ, 2021. – 260 с.
34. Марков О. П. Електричні мережі та системи: підручник. – К.: Либідь, 2018. – 512 с.
35. Шевченко О. В. Охорона праці в сільському господарстві: навч. посіб. – К.: Аграрна освіта, 2019. – 180 с.
36. Лозинський О. Я. Енергоефективні технології в АПК: навч. посіб. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2020. – 310 с.
37. Козловський В. О. Проектування систем електропостачання: навч. посіб. – К.: НУХТ, 2019. – 340 с.
38. Zhang, Y., & Kasira, M. (2022). Energy-efficient lighting strategies for greenhouse crop production. *Acta Horticulturae*, 1337, 123–130. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1337.16>.
39. Li, K., & Yang, Q. (2021). Automation in greenhouse irrigation systems: A review. *Agricultural Water Management*, 245, 106614. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106614>.

40. Marcelis, L. F. M., & Heuvelink, E. (2023). Greenhouse climate control: An integrated approach to sensors and automation. *Horticulture Research*, 10(3), uhad012. <https://doi.org/10.1093/hr/uhad012>.
41. Kumar, S., & Singh, R. (2020). IoT-based greenhouse monitoring and control system. *Journal of Agricultural Engineering*, 57(2), 89–97.
42. ДСТУ 9058:2020. Пожежна безпека електроустановок. Загальні вимоги. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 28 с.
43. Пономаренко О. Л. Світлодіодне освітлення в тепличному господарстві: енергоефективність та продуктивність // Агроєкологічний журнал. – 2021. – № 4. – С. 45–50.
44. Кравчук В. І. Сучасні системи автоматизації в агропромисловому комплексі // Науковий вісник ТДАТУ. – 2020. – Вип. 10. – С. 112–118.
45. Гнатів П. С. Екологічні аспекти експлуатації тепличних господарств // Екологія та природокористування. – 2020. – № 3. – С. 67–72.
46. Сеньків М. І. Техніко-економічне обґрунтування проєктів в АПК: метод. посіб. – К.: НУБіП, 2021. – 120 с.
47. Liu, X., & Xu, Z. (2021). Smart irrigation systems for greenhouse crops: Design and performance. *Computers and Electronics in Agriculture*, 182, 106042. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106042>.
48. Fernández, E. F., & Almonacid, F. (2020). Energy efficiency in greenhouse systems: A review of technologies and strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120, 109614. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109614>.
49. ДСТУ ІЕС 60364-5-52:2011. Електроустановки будівель. Частина 5-52: Вибір і монтаж електричного обладнання. Кабелі та проводи. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2011. – 40 с.
50. Бойко С. М. Автоматизація зрошувальних систем у тепличному господарстві // Вісник аграрної науки. – 2021. – № 6. – С. 89–94.